

Е. А. Красноухова

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ОТЛИВКИ

*В статье приведены результаты компьютерного моделирования процесса кристаллизации отливок для различных параметров заливки. На основании полученных результатов сделан вывод о возможности оптимизации параметров качества отливок путём эффективного управления процессами кристаллизации на основе математических моделей, связывающих параметры заливки и качество отливок.*

**Ключевые слова:** компьютерное моделирование, отливка, параметры заливки.

### 1. Введение

Исследования, о которых идёт речь в докладе, относятся к математическому моделированию в литейном производстве. При исследовании реальных технологических процессов, например процессов литья по давлению и в кокиль, возникает ряд сложностей, связанных с необходимостью выбора оптимальных режимов ведения процессов [1–5]. Единственным путем решения таких проблем является компьютерное и математическое моделирование с применением специальных программных пакетов, например Solid Works и LVM Flow. Выбор области исходных данных для компьютерного эксперимента в данном случае является очень важной задачей, предваряющей процесс компьютерного моделирования процесса кристаллизации отливки.

### 2. Постановка проблемы

В данном докладе рассматривается решение проблем по обеспечению качества литых деталей на основе создания конечноразностной модели литой детали. В качестве входных переменных выбираются параметры материала и заливки.

### 3. Основная часть

**3.1. Анализ литературных источников по теме исследования.** В цикле работ [6–11] показано, что одним из наиболее эффективных путей достижения поставленных целей является автоматизация процесса проектирования литых деталей на основе современных CAD/CAM/CAE-систем, реализующих концепцию комплексной автоматизации производства, т. е. охват всего технологического цикла. Современное проектирование литейной технологии, осуществляемое с помощью CAD/CAE-систем, включает в себя построение трехмерных (3D) геометрических моделей детали, отливки с литниковой системой, а также литейной оснастки и изготовление по ним чертежной документации. В работах [6–9] показано, что к задачам, решаемым с помощью CAE-систем, относятся: обработка литейной технологии на стадии проектирования; оптимизация уже имеющейся технологии и режима заливки и т. д. Универсальным численным методом решения граничных задач, применяемых в этих целях, являются методы конечных разностей (сеток), достоинства которых состоят в том, что они сводят решение краевой задачи для дифференциальных уравнений к решению системы алгебраических уравнений. При выборе исходных данных для задачи моделирования необходимо провести планирование эксперимента и построить математическую модель, связывающую эффективность процессов кристаллизации с выбранными параметрами заливки [10]. Структура таких моделей представляет собой полином степени  $n$  и строятся они на основе методов регрессионного анализа, в частности на основе использования уравнения Колмогорова — Габбора. Методы построения таких моделей описаны в работах [11–14]. Полученные на основе использования таких методов математические модели могут быть применены для оптимизации параметров заливки на основе применения симплекс-метода планирования эксперимента или ридж-анализа [15–17].

На основе компьютерного моделирования показано, что направленность кристаллизации играет важнейшую роль при получении качественной литой детали. По результатам математического моделирования были выявлены области предположительного образования дефектов (в программе LVM Flow модель образования усадочных дефектов базируется на теории перколяции и определяется в процентах, показываемых на шкале), и установлены параметры заливки, минимизирующие процент усадочных дефектов в теле отливки.

**3.2. Результаты исследований.** На основе компьютерного моделирования показано, что направленность кристаллизации играет важнейшую роль при получении качественной литой детали. По результатам математического моделирования были выявлены области предположительного образования дефектов (в программе LVM Flow модель образования усадочных дефектов базируется на теории перколяции и определяется в процентах, показываемых на шкале), и установлены параметры заливки, минимизирующие процент усадочных дефектов в теле отливки.

### Литература

1. Доценко Ю. В. Влияние комплексной технологии на свойства отливок из сплава АК7ч с повышенным содержанием железа [Текст] / Ю. В. Доценко, В. Ю. Селиверстов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2011. — № 6/5(54). — С. 45–48.

2. Доценко Ю. В. Особенности затвердевания отливок из алюминиевых сплавов при нарастающем давлении и модифицировании [Текст] / Ю. В. Доценко, В. Ю. Селиверстов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2012. — № 1/5(55). — С. 18–22.
3. Доценко Ю. В. Затвердевание отливок из сплава АК5М при комплексном воздействии на расплав [Текст] / Ю. В. Доценко, В. Ю. Селиверстов // Вестник Национального технического университета «ХПИ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск «Новые решения в современных технологиях». — Харьков : НТУ «ХПИ», 2012. — № 1 — С. 3–8.
4. Доценко Ю. В. Особенности оценки эффективности получения отливок способом литья под высоким давлением [Текст] / Ю. В. Доценко, В. Ю. Селиверстов, В. В. Мацийчук, С. В. Малых // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. — Харків : НТУ «ХПІ». — 2012. — № 9. — С. 21–29.
5. Доценко Ю. В. Анализ эффективности комплексных технологических решений по повышению качества литейных алюминиевых сплавов с повышенным содержанием железа [Текст] / Ю. В. Доценко, В. Ю. Селиверстов, К. В. Шейдаев // XIII International scientific conference. New technologies and achievements in metallurgy and materials engineering. A collective monograph edited by Henryk Dyja, Anna Kawalek. Chapter 1. Series: Monographs No 24. Czestochova 2012. — P. 211–216.
6. Акимов О. В. Экспериментальные исследования и компьютерное моделирование материалов для блок-картера ДВС [Текст] / О. В. Акимов, А. П. Марченко // Східно-Європейський журнал передових технологій. — 2008. — № 5/1(35).
7. Акимов О. В. Компьютерное моделирование процессов при производстве литых деталей двигателя [Текст] / О. В. Акимов, В. И. Алёхин, А. П. Марченко // Литейное производство. — 2010. — № 9. — С. 31–33.
8. Акимов О. В. Применение методик конструкторско-технологического проектирования деталей ДВС в моделировании литейных процессов изготовления автомобильных поршней [Текст] / О. В. Акимов, В. И. Алёхин, А. П. Марченко // Цветные металлы. — 2010. — № 8.
9. Акимов О. В. Анализ влияния некоторых факторов на качество индукционной тепловой сборки подшипниковых узлов [Текст] / О. В. Акимов, М. К. Кравцов, В. Т. Акимов // Східно-Європейський журнал передових технологій. — 2010. — № 5/5(47).
10. Дёмин Д. А. Обработка экспериментальных данных и построение математической модели технологического процесса методом наименьших квадратов (МНК) [Текст] / Д. А. Дёмин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2006. — № 3/1. — С. 47–50.
11. Серая О. В. Оценка параметров уравнения регрессии в условиях малой выборки [Текст] / О. В. Серая, Д. А. Дёмин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2009. — № 6/4(42). — 2009. — С. 14–19.
12. Раскин Л. Г. Искусственная ортогонализация пассивного эксперимента в условиях малой выборки нечетких данных [Текст] / Л. Г. Раскин, Д. А. Дёмин // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. — 2010. — № 1(80). — С. 20–23.
13. Дёмин Д. А. Метод обработки малой выборки нечетких результатов ортогонализованного пассивного эксперимента [Текст] / Д. А. Дёмин, Т. И. Каткова // Вісник Інженерної Академії. — 2010. — № 2. — 2010. — С. 234–237.
14. Серая О. В. Оценка представительности усеченных ортогональных подпланов плана полного факторного эксперимента [Текст] / О. В. Серая, Д. А. Дёмин // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2010. — № 3. — С. 84–88.
15. Дёмин Д. А. Оптимизация технологического процесса в цехе предприятия [Текст] / Д. А. Дёмин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2005. — № 6. — С. 48–59.
16. Дёмин Д. А. Оптимизация технологических режимов [Текст] / Д. А. Дёмин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2006. — № 2/1(20). — С. 32–35.
17. Коваленко Б. П. Оптимизация состава холоднотвердеющих смесей (ХТС) с пропиленкарбонатом [Текст] / Б. П. Коваленко, Д. А. Дёмин, А. Б. Божко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2006. — № 6. — С. 59–61.

## КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КРИСТАЛІЗАЦІЇ ВЛИВКІВ

**Є. О. Красноухова**

У статті наведено результати комп'ютерного моделювання процесу кристалізації виливків для різних параметрів заливки. На підставі отриманих результатів зроблено висновок про можливість оптимізації параметрів якості виливків шляхом ефективного управління процесами кристалізації на основі математичних моделей, що пов'язують параметри заливки та якості виливків.

**Ключові слова:** комп'ютерне моделювання, виливок, параметри заливки.

*Євгенія Олексіївна Красноухова, магістр кафедри ливарного виробництва Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», тел.: (057) 707-68-54, e-mail: litvo11@kpi.kharkov.ua.*

## COMPUTER SIMULATION OF SOLIDIFICATION

**E. Krasnoukhova**

The article describes the methods of mathematical modeling, use of which is desirable to select the optimal process parameters for making castings, particularly in the design phase of mold technology.

**Keywords:** mathematical model, experimental design, orthogonalization, regressive analysis.

*Eugenia Krasnoukhova, master of Department of Technology and Equipment, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», tel.: (057) 707-68-54, e-mail: litvo11@kpi.kharkov.ua.*